

木材を内蔵したコンクリート充填鋼管短柱の圧縮特性に関する基礎研究

Compressive Behavior of CFT short Column Encased Wood

最大圧縮力 圧縮剛性 圧縮靱性
相互作用 加算 空洞

会員外 ○萩尾 和輝* Kazuki HAGIO
同 尾崎 直哉* Naoya OZAKI
同 鈴木 智也* Tomoya SUZUKI
正会員 山本 貴正** Takamasa YAMAMOTO
同 中原 浩之*** Hiroyuki NAKAHARA

1. はじめに

前報 1)に引き続き、木材を内蔵したコンクリート充填鋼管短柱(以下、木材内蔵 CFT)の圧縮特性について検討している。

2. 実験概要

2.1 実施試験

木材内蔵 CFT 短柱、木材を内蔵したコンクリート(木材内蔵コンクリート)の圧縮試験を実施している。併せて、木材内蔵の影響を検討するため、木材を内蔵していない CFT 短柱、また木材内蔵 CFT 短柱の木部を空洞とした CFT 短柱(以下、円筒 CFT 短柱)の圧縮試験も実施した。

材料試験として、コンクリート標準試験体(以下、標準コンクリート)、標準試験体と同一寸法の木材内蔵コンクリートの木部を空洞としたコンクリート(以下、円筒コンクリート)、木材および鋼管短柱の圧縮試験を実施した。

2.2 使用材料

コンクリートはモルタルとした。水は水道水、セメントは普通ポルトランドセメント(密度: 3.15g/cm^3)、細骨材は山砂(表乾密度: 2.55g/cm^3 、吸水率: 0.05%)を使用している。木材は米松の節なしかつ辺材、鋼管は STK500-114.3x1.9 を用いた。

2.3 試験体作製

コンクリートは強制攪拌型ミキサーを使用し、セメント水比 3.3、セメント砂比 2.7 である。木材内蔵および円筒の試験体は、それぞれ中央部全材長に直径 50mm の木材および発泡プラスチック(密度: 0.061g/cm^3)を配置した。木材には、吸水で膨張が生じないように、ラップフィルムを被覆した。木材内蔵 CFT 短柱の概要を図-1 に示してある。なお、木材内蔵 CFT 短柱の単位部材長さ当たりの質量は、CFT 短柱と比較し 12%減である。

コンクリートは、内径 100mm・内高 200mm の鋼製型

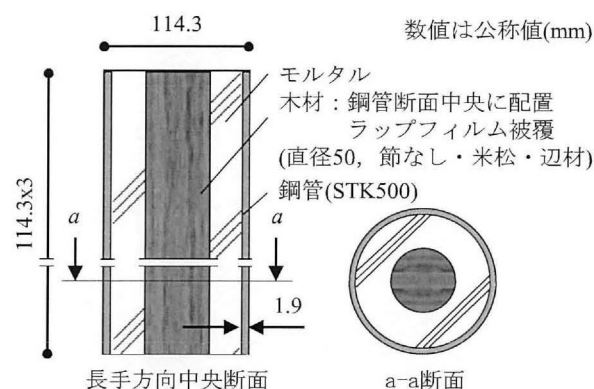


図-1 木材内蔵CFT短柱の概要

枠に打設し、圧縮試験実施前日まで気中封蔵養生した。鋼管の高さ直径比は 3.0 である。なお、併せて作製したラップフィルムを巻いていない木材を内蔵したコンクリートを、打設翌日に脱型し、恒温恒湿室にて養生した。各試験体ともに、材端部の平滑を確保するため、打設側の端部を研磨した。

2.4 試験方法

CFT 短柱と鋼管短柱の圧縮試験は、試験体の上下端の載荷板を固定とし、変位を上下の支圧板間に設置した相対する 2 台の変位計で測定した。また鋼管の中央水平断面三等分点に二軸ひずみゲージを貼付し、軸周ひずみ度を計測した。CFT 短柱の圧縮力-軸ひずみ度関係は、最大圧縮力到達後に圧縮力が収束する(例えば、2)。このことから、CFT 短柱の収束領域の圧縮力(以下、収束圧縮力)を定量的に把握することは、CFT 柱の圧縮靱性の評価につながると考えられている。そこで、収束圧縮力を、圧縮力-圧縮ひずみ度関係の最大圧縮力到達後から載荷終了までの極小値の標本平均とした。

コンクリートの圧縮試験は、JIS A 1105:2015 および

* 愛知工業大学工学部建築学科 本科生

** 愛知工業大学工学部建築学科 准教授 博士(工学)

*** 長崎大学大学院工学研究科 教授 博士(工学)

Undergraduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.
Prof., Graduate School of Engineering, Nagasaki University, Dr. Eng.

1149:2010 に準拠した。圧縮変位は、コンプレッソメータで計測した。

木材は、日本住宅木材・技術センターの構造用木材の強度試験マニュアル³⁾に基づき縦圧縮試験を実施した。ただし、試験体高さは、標準コンクリートと同一である。また、圧縮変位は、木材との接点を皿頭ビスに置き換えたコンプレッソメータで計測している。

3. 実験結果・考察

3.1 材料試験

(a) コンクリート

表-1 に、標準と円筒のコンクリートの圧縮試験結果を示す。強度時ひずみ度は、最大圧縮力到達時の圧縮ひずみ度である。

同表に示すように、標準と円筒のコンクリートの各試験値の平均値は、有意水準 0.05 で差があるとは言えない。以降、標準と円筒のコンクリートの各試験値は差がないと仮定する。なお、圧縮強度の標本変動係数は、レディミクストコンクリートにおいて良好な管理がなされているかの目安となる上限値 10%以内である。

(b) 木材

表-2 に、木材の縦圧縮試験結果を示す。表中には、文献 2) および JIS A 1149:2010 それぞれに準拠して計測したヤング係数が示してある。

表-1 コンクリートの圧縮試験結果

試験値	密度 (g/cm ³)		圧縮強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)		強度時ひずみ度 (%)	
	標準	円筒	標準	円筒	標準	円筒	標準	円筒
n	3	3	3	3	2	3	2	3
m	2.064	2.043	47.53	46.52	24.39	23.86	0.297	0.299
P値	0.072		0.292		0.205		0.437	
s	0.004	0.020	2.650	1.347	0.275	0.710	0.025	0.013
s/m (%)	0.194	0.979	5.575	2.896	1.128	2.976	8.418	4.348

n: サンプル数, m: 標本平均, s: 標本標準偏差
P値: t検定の有意確率(標準と円筒のコンクリートの平均値の差)

表-2 木材の縦圧縮試験結果

試験値	密度 (g/cm ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)		強度時ひずみ度 (%)
			文献2)	JIS A 1149	
n	6	6	3	3	3
m	0.469	43.04	9.292	9.128	0.638
P値	-	-	0.455		-
s	0.003	1.244	1.626	1.677	0.199
s/m (%)	0.544	2.890	17.50	18.37	31.19

P値: t検定の有意確率(ヤング係数の平均値の計測方法による差)

表-3 鋼管短柱の圧縮試験結果

試験値	n	m (N/mm ²)	s (N/mm ²)	s/m (%)
降伏応力度(0.2%off-set)	2	412.6	10.54	2.555
最大応力度		447.3	4.434	0.991

同表に示すように、ヤング係数の標本平均の計測方法による差は、有意水準 0.05 であるとは言えない。

(c) 鋼管

表-3 に、鋼管短柱の圧縮試験値を示す。表中の降伏応力度は、0.2%off-set 耐力である。

3.2 木材内蔵コンクリート

(a) 最終破壊状況

写真-1 に、木材内蔵コンクリートの最終破壊状況の例を示す。比較のため標準と円筒コンクリートについても示してある。

同写真からわかるように、最終破壊状況に及ぼす木材内蔵の影響は目視では認められない。なお、サンプル数 3 のうち 2 は、圧縮試験前日の型枠脱型後に材軸方向のひび割れが発生した。これは、木材とコンクリートの熱膨張率の差で生じたと考えられる。封緘養生中は、鋼製型枠で膨張が拘束されて、ひび割れ発生が抑制されたと推察される。このひび割れは、恒温恒湿室で養生かつラップフィルム無被覆の木材を内蔵しているコンクリートには生じていないため、木材の吸水膨張ではないと考えられる。なお、以降に述べる圧縮試験値に及ぼすこのひび割れの影響はない。

(b) 圧縮力-圧縮ひずみ度関係

図-2 に、木材内蔵コンクリートの圧縮力-圧縮ひずみ度関係を示す。比較のため木材についても示してある。

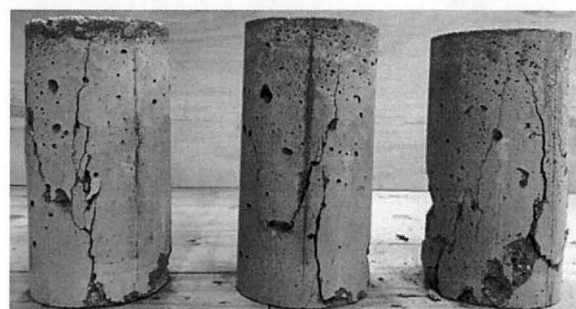


写真-1 コンクリートの最終破壊状況

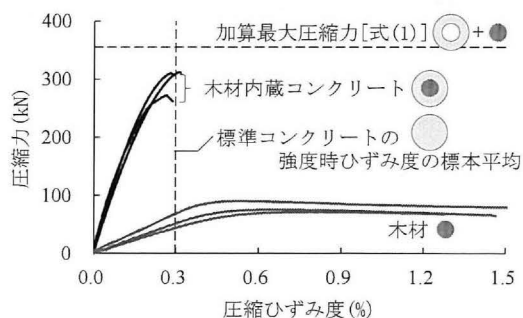


図-2 木材内蔵コンクリートの圧縮力-圧縮ひずみ度関係

縦破線は、標準コンクリートの強度時ひずみ度の標本平均を表している。横破線は、次式の円筒コンクリートおよび木材それぞれの最大圧縮力を加算した最大圧縮力[以下、加算最大圧縮力(N_0)]である。

$$N_0 = N_{\max-e} + N_{\max-w} \quad (1)$$

ここに、 $N_{\max-e}$ 、 $N_{\max-w}$ ：円筒コンクリートおよび木材それぞれの最大圧縮力の標本平均

同図より、木材内蔵コンクリートは、最大圧縮力が、加算最大圧縮力と比較して低いこと、また、強度時ひずみ度が、木材と比較して小さく、一方、標準コンクリートの標本平均付近であることがわかる。なお、木材内蔵コンクリートと標準コンクリートの強度時ひずみ度の差は、 t 検定した結果、有意水準 0.05 であるとは言えない。これらより、コンクリートは、木材と比較して、強度時ひずみ度が小さいため、コンクリートの圧縮破壊で最大圧縮力が決定したと考えられる。

(c) 最大圧縮力・圧縮剛性

実験結果を踏まえ、次式の加算最大圧縮力と木材内蔵コンクリートの最大圧縮力を比較する。

$$N_0 = N_{\max-e} + N_{0-w} \quad (2)$$

ここに、 N_{0-w} ：木材の圧縮力－圧縮ひずみ度関係において、圧縮ひずみ度が木材内蔵コンクリートの強度時ひずみ度に到達したときの圧縮力

また、次式の円筒コンクリートおよび木材それぞれの圧縮剛性を加算した圧縮剛性[加算圧縮剛性(K_0)]と木材内蔵コンクリートの圧縮剛性を比較する。

$$K_0 = K_{ce} + K_w \quad (3)$$

ここに、 K_{ce} 、 K_{ce} ：円筒コンクリートおよび木材それぞれの弾性剛性の標本平均

表-4 および表-5 に、それぞれ木材内蔵コンクリートの最大圧縮力および圧縮剛性の平均値の信頼区間と加算最大圧縮力および圧縮剛性を示す。各表より、加算最大圧縮力および圧縮剛性は、平均値の 95%信頼区間内に存在していることがわかる。

3.3 CFT

(a) 破壊状況

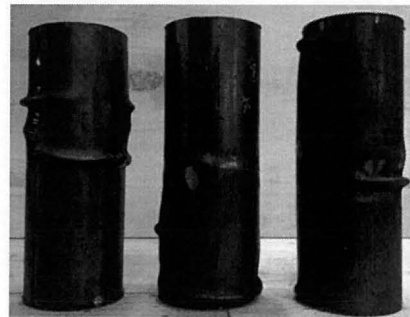
写真-2 に、各 CFT 短柱の最終破壊状況の例を示す。同写真からわかるように、最終破壊状況に及ぼす木材内蔵と空洞の影響は目視では認められない。なお、前述 3.2(a) の木材とコンクリートの熱膨張率の差によるひび割れは発生していない。これは、鋼管で膨張が拘束されて、ひび割れ発生が抑制されたと推察される。

表-4 木材内蔵コンクリートの最大圧縮力 (kN)

平均値の95%信頼区間	加算圧縮力[式(2)]	$N_{\max-e}$	N_{0-w}
299±58.4	327	274	52.7

表-5 木材内蔵コンクリートの圧縮剛性 (kN/mm)

平均値の95%信頼区間	加算圧縮剛性[式(3)]	K_e	K_0
1610±472	1585	1406	179



円筒CFT短柱 木材内蔵CFT短柱 CFT短柱
写真-2 CFT短柱の最終破壊状況

縦実線：木材の強度時ひずみ度の標本平均値
縦破線：木材の強度時ひずみ度の標本平均値±標本標準偏差

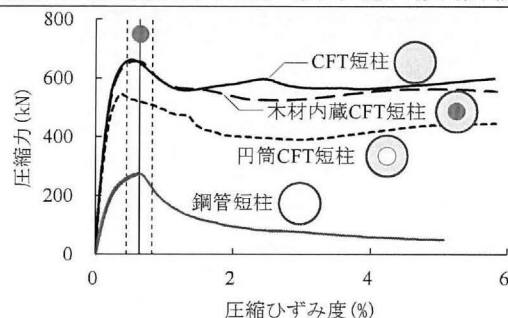


図-3 CFT短柱の圧縮力-圧縮ひずみ度関係

(b) 圧縮力－圧縮ひずみ度関係

図-3 に、各 CFT 短柱の圧縮力－圧縮ひずみ度関係を併せて示す。横軸は、標準コンクリートの 1/3 を乗じた圧縮強度到達^{注1}まではひずみゲージ計測値、それ以降は、試験体高さに対する変位計測値の増分和である。比較のため鋼管短柱についても示してある。縦実線および破線は、木材の強度時ひずみ度の標本平均および標本平均±標本標準偏差をそれぞれ表している。

図より、木材内蔵 CFT 短柱は、最大圧縮力到達時の軸ひずみ度が、木材の強度時ひずみ度の標本平均±標本標準偏差内に存在していることが認められる。なお、CFT 短柱の最大圧縮力に対する木材内蔵 CFT のそれは 0.99 である。これより、コンクリートと木材の圧縮強度の差がなければ、CFT 短柱に木材を配置しても、最大圧縮力は低下しにくいと考えられる。また最大圧縮力到達以降、他の CFT 短柱と同様に、かつ鋼管短柱と異なり、圧縮力

が収束していることが認められる。

(c) 収束圧縮力

図-4 に、各 CFT 短柱の最大圧縮力に対する収束圧縮力(以下、劣化抵抗率)を示す。括弧内は、CFT 短柱の劣化抵抗率に対する各 CFT 短柱の劣化抵抗率である。

図より、木材内蔵 CFT 短柱の劣化抵抗率は、円筒 CFT 短柱と比較して高いことがわかる。このことから、円筒 CFT の空洞部に木材を配置することで、圧縮靱性向上を期待できると考えられる。また、木材内蔵 CFT 短柱と CFT 短柱の劣化抵抗率に差がない、かつコンクリートと木材の圧縮強度に差がないと仮定すると、木材内蔵により軽量化しても劣化抵抗率は低下しないと考えられる。

(d) 圧縮靱性

図-5 に、各 CFT 短柱の次式の加算圧縮靱性(K_0)を示す。括弧内は、加算圧縮靱性に対する圧縮靱性計測値である。

$$K_0 = \frac{A_s \cdot E_s + A_c \cdot E_c + A_w \cdot E_w}{h} \quad (4)$$

ここに、 A_s 、 A_c 、 A_w ：鋼管部、コンクリート部および木部それぞれの断面積、 $E_s(=206\text{kN/mm}^2)$ 、 E_c 、 E_w ：鋼管、コンクリートおよび木材それぞれのヤング係数、 h ：試験体高さ

同図に示すように、木材内蔵 CFT 短柱の加算圧縮靱性に対する圧縮靱性計測値は 1.01 である。この結果と、CFT 短柱および円筒 CFT 短柱それぞれの加算圧縮靱性に対する圧縮靱性計測値、かつ既往の研究成果⁴⁾より、木材内蔵 CFT 短柱の圧縮靱性は、加算圧縮靱性で評価できると考えられる。これを踏まえると、圧縮靱性には、木材とコンクリートの相互作用がないことになる^{注2)}。

4. おわりに

本報で得られた知見を、次のように整理する。

- 1) コンクリートは、木材と比較して、強度時ひずみ度が小さいため、木材内蔵コンクリートの最大圧縮力は、コンクリートの圧縮破壊で決定し、加算最大圧縮力[式(1)]に到達しない。
- 2) コンクリートと木材の圧縮強度の差がなければ、CFT 短柱に木材を配置しても、最大圧縮力は低下しにくい。
- 3) 円筒 CFT の空洞部に木材を配置することで、圧縮靱性向上を期待できる。
- 4) 木材内蔵 CFT 短柱の圧縮靱性は、加算圧縮靱性[式(4)]で評価できる。これを踏まえると、圧縮靱性には、木材とコンクリートの相互作用がない。

謝辞

本稿の研究成果は、平成 31 年度愛知工業大学耐震実

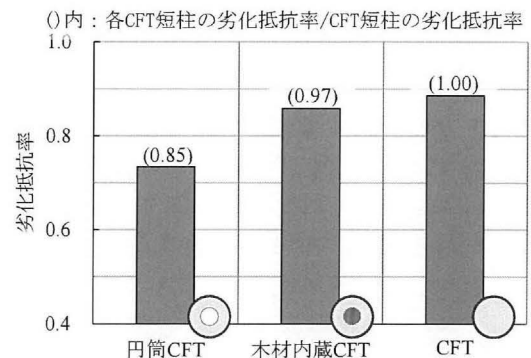


図-4 CFT短柱の劣化抵抗率

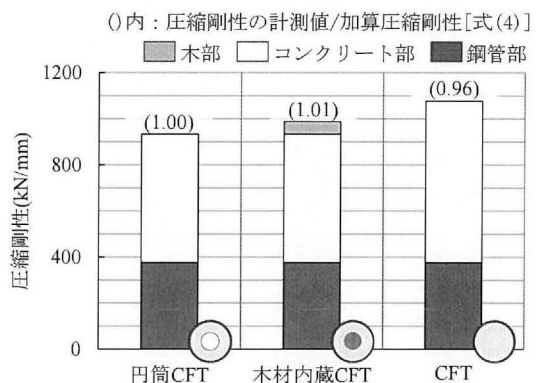


図-5 CFT短柱の加算圧縮靱性[式(4)]

験センター研究助成の支援による。また本実験を遂行するにあたり、愛知工業大学本科生の野尻加津也様のご助力を得た。

注

注1) ヤング係数の標本平均に対する 1/3 を乗じた圧縮強度の平均値である。

注2) 一般に、木材のポアソン比は、コンクリートと比較して大きい。

参考文献

- 1) 柴尾海斗，中原浩之：木材を内蔵したグラウト充填鋼管の中心圧縮性状，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 III，pp.1333-1334，2019.9
- 2) 遠藤創，辻文三，中島正愛，越智敏夫，楊柳：コンクリート充填鋼管短柱の軸圧縮挙動，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 II，pp.1181-1182，1992.8
- 3) 日本住宅木材・技術センター：構造用木材の強度試験マニュアル，pp.13-14，2011.3
- 4) 宮木聡，松井千秋，津田恵吾，畑戸龍夫，今村輝武：遠心成形コンクリート充填鋼管柱の軸圧縮性状，日本建築学会構造系論文集，Vol.482，pp.121-130，1996.4